

Le traitement des eaux usées domestiques dans les départements d'outre-mer

Pascal Molle et Rémi Lombard-Latune
INRAE - UR REVERSAAL

Sommaire

N°41

- 1 - Contexte et contraintes de l'assainissement dans les départements d'outre-mer
- 2 - Panorama de l'assainissement dans les DOM
- 3 - Le petit collectif : action OFB-INRAE dans les DOM (2008-2018)
- 4 - Perspectives

Les départements d'outre-mer (DOM) sont porteurs d'enjeux d'assainissement particulièrement sensibles. Soumis au même cadre réglementaire que la métropole (directive cadre sur l'eau [DCE] et directive relative au traitement des eaux résiduaires [Deru]), ils présentent un important retard dans la mise en place de systèmes d'assainissement performants alors que les enjeux environnementaux (concentration de la majorité de la biodiversité nationale) et socio-économiques (l'eau est au cœur de leurs activités économiques : tourisme, agriculture...) nécessitent un développement rapide et fiable de l'assainissement. Les spécificités des DOM et leurs conséquences sont trop rarement prises en compte lors de la planification de l'assainissement. Les choix techniques qui en résultent conduisent bien souvent à des résultats qui ne sont pas à la hauteur des enjeux ni des montants investis. Une nouvelle dynamique autour du plan Eau-DOM est à l'œuvre dans les territoires où les premiers contrats de progrès ont été signés en 2018 et 2019.

Quelles sont les spécificités des DOM et les contraintes qu'elles génèrent vis-à-vis de l'assainissement ? Quelle est la situation réelle et quelles sont les avancées réalisées sur les questions de l'assainissement des DOM par les actions portées par l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), et soutenues par l'Office français de la biodiversité (OFB) ? Ce document s'attache à répondre à ces questions en présentant également des pistes de réflexions à mener pour l'aménagement de ces territoires.



© Lucas Pellus – ODE Martinique

1 - Contexte et contraintes de l'assainissement dans les départements d'outre-mer

Malgré leur dispersion géographique et leurs singularités, les DOM partagent un certain nombre de points communs au niveau environnemental, économique et social qui les démarquent de la métropole. Cependant,

l'organisation du secteur de l'assainissement et le cadre réglementaire sont identiques sur tout le territoire national.

1.1 Un environnement tropical

Les îles des Antilles (Guadeloupe et Martinique) et de La Réunion connaissent une pluviométrie abondante (records mondiaux pour La Réunion), ainsi qu'une forte exposition aux cyclones et tempêtes tropicales. De nature volcanique, leurs reliefs marqués génèrent d'importantes asymétries en termes de pluviométrie entre côtes au vent et sous le vent. Mayotte a le territoire le plus petit, moins riche en pluviométrie, avec un relief plus homogène, mais se distingue par l'importance de son lagon, l'un des plus grands du monde (1 100 km²

soit 3 fois la surface de l'île). À l'inverse, la Guyane est un territoire immense (14 % de la superficie nationale), aux saisons peu marquées (régime climatique équatorial) (Tableau 1).

Les multiples lagons, récifs coralliens, zones de mangroves ainsi que la portion guyanaise de la forêt amazonienne représentent à eux seuls 80 % de la biodiversité nationale. La protection de ce patrimoine naturel se double d'un enjeu économique pour ces territoires largement tournés vers le tourisme.

1 **Caractéristiques physiques des départements d'outre-mer (d'après Lefebvre et al., 2015)**

Tableau

	Guadeloupe	Martinique	Guyane	La Réunion	Mayotte
Superficie (km ²)	1 628	1 128	83 533	2 504	374
Climat	Tropical	Tropical	Équatorial	Tropical	Tropical
Températures moyenne (°C)	27	26	26	27	26
Géologie	Grande Terre : socle calcaire Basse Terre : volcanique	Volcanique	Socle sédimentaire	Volcanique	Volcanique
Point culminant	Soufrière : 1 467 m	Montagne Pelée : 1 397 m	Bellevue de l'Inimi : 851 m	Piton des neiges : 3 071 m	Mont Bénara : 660 m

Du point de vue de l'assainissement, cet environnement physique impose de fortes contraintes aux infrastructures :

- le climat chaud et humide accélère la corrosion, les fortes températures favorisent le développement d'hydrogène sulfuré dans les réseaux d'eaux usées. Ce dernier corrode les matériaux des ouvrages de traitement (surtout les prétraitements) et favorise le développement de bactéries filamenteuses perturbant le traitement ;
- la pluviométrie y est à la fois plus fréquente et plus intense (Figure 1), provoquant d'importantes surcharges hydrauliques ;

- les reliefs se traduisent par d'importants dénivelés et un cloisonnement, qui rendent difficile et coûteux la réalisation et l'entretien des réseaux ;

- les sols sont souvent instables (coulées de boues, érosion, sismicité, dépôts alluvionnaires dans les mangroves) et les nappes peu profondes sur les zones littorales, ce qui complique l'entretien des canalisations et compromet l'intégrité des réseaux dans le temps.

La principale conséquence de ces contraintes est la perméabilité des réseaux. Ainsi, le schéma départemental mixte eau et assainissement de la Guadeloupe (2011) estime que **57 % des eaux arrivant au niveau des stations de traitement des eaux usées (STEU) seraient constitués d'eaux claires parasites (ECP) in-**

filtrées dans le réseau le long du linéaire. Les conséquences sont multiples pour la STEU : surcharges hydrauliques entraînant un lessivage des boues, surcoûts énergétiques et usures prématurées des dispositifs de relevage, moindres performances dues à la dilution des eaux...

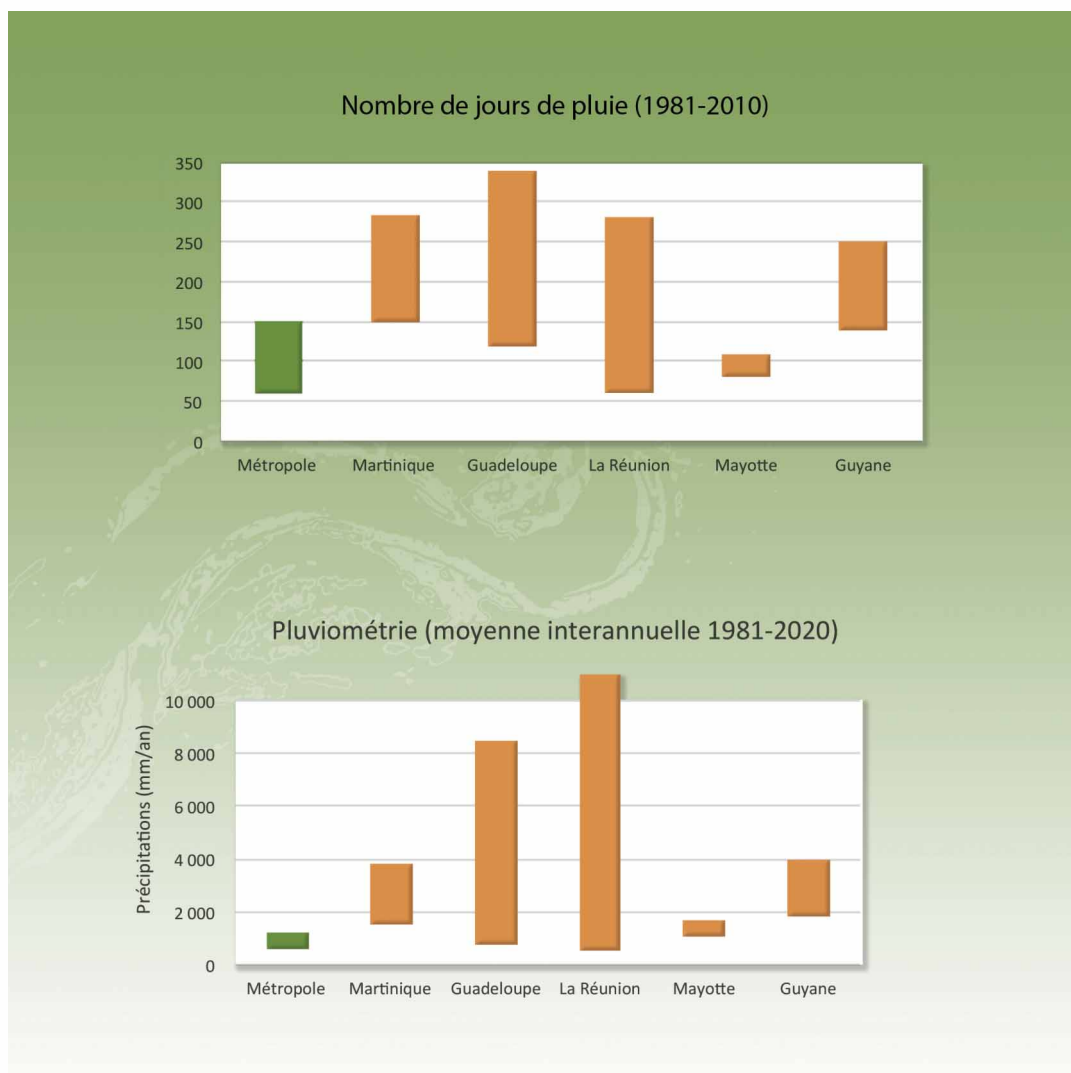


Figure 1. Nombre de jours de pluie et moyenne interannuelle de pluviométrie dans les DOM et en métropole, entre 1981 et 2010. Chaque histogramme représente la variation géographique sur chacun des territoires (point le plus sec et le plus humide). Données Météo France.

1.2 Un contexte socio-économique tendu

Les DOM sont les territoires avec la plus forte densité de population après la région parisienne (Tableau 2). Avec 3 habitants au km² la Guyane fait exception, mais cette faible moyenne cache un développement concentré sur la zone littorale avec des densités localement très importantes.

Du point de vue de l'assainissement, ces densités élevées entraînent **une pression foncière importante** qui se traduit par une faible disponibilité et des coûts élevés pour les terrains nécessaires à la réalisation des équipements de traitement, qu'ils soient individuels ou collectifs.

Par ailleurs, la gestion foncière est problématique dans la mesure où le cadastre est lacunaire (5 % en Guyane), « incomplet, mal actualisé en Guadeloupe comme en Martinique » d'après un rapport de la Cour des comptes¹.

La présence de zones d'habitats informels ou spontanés, en Guyane et à Mayotte principalement du fait de la forte immigration en provenance des pays voisins, rendent particulièrement compliquée la mise à niveau d'aménagements pour l'eau et l'assainissement. À Mayotte, ces zones concernent pour 1/3 - 1/3 - 1/3 des personnes de droits (Mahorais), en droit précaire (dossier en cours à la préfecture) et illégaux. Certaines structures ont pour objectifs de régulariser ces habitats à l'instar de l'agence des 50 pas géométriques en Martinique.

La gestion foncière associée à la croissance démographique implique une planification difficile : les réseaux essayent bien souvent de rattraper l'urbanisation.

La dynamique des populations d'outre-mer est contrastée (Tableau 2). Les Antilles connaissent un déclin démographique et un vieillissement de leur population. La Réunion compte le plus d'habitants et leur nombre continue de croître légèrement. La Guyane et Mayotte en revanche sont les territoires les moins peuplés mais connaissent une explosion démographique : taux de croissance et part de jeunes dans la population les plus élevés du pays (50 % de la population mahoraise a moins de 17 ans, Insee 2012). Dans ces territoires, la population est susceptible d'augmenter de moitié dans les 10 prochaines années ce qui complique la planification et le dimensionnement des infrastructures collectives.

2 Comparaison de la démographie et de quelques indicateurs socio-économiques dans les DOM et en France

	Guadeloupe	Martinique	Guyane	La Réunion	Mayotte	France
Population en 2018 (x 1 000 hab)	391	371	282	866	259	67 187
Évolution annuelle (%)	- 0,1	- 0,6	2,4	0,6	3,8	0,4
Densité (hab/km ²)	240	329	3	346	693	105
Revenu disponible brut des ménages 2015 (€)	15 697	17 165	10 589	17 036	6 747	20 485
Croissance RDBM 2005 - 2015	40 %	33 %	18 %	32 %	76 %	16 %
Écart des prix avec la métropole (2016)	12,5 %	12,3 %	11,6 %	7,1 %	6,9 %	-
Taux de couverture des importations par les exportations (%)	6,2 %	13 %	12 %	7 %	1,8 %	-

Le revenu disponible brut des ménages (RDBM) est défini comme la part du revenu primaire qui reste à la disposition des ménages pour la consommation et l'épargne. Données Insee 2018

Sur le plan économique, les revenus moyens par habitant sont inégaux et encore largement inférieurs à ceux de la métropole malgré la forte croissance de ces 10 dernières années (Tableau 2). Le revenu d'un ménage mahorais correspond ainsi à 30 % de celui d'un métropolitain. Le ratio est de 50 % pour la Guyane mais grimpe à 80 % pour les Antilles et La Réunion. Les prix étant en moyenne 10 % plus chers qu'en métropole, en particulier pour l'alimentation (Insee, 2012), la différence est encore plus conséquente au niveau du

pouvoir d'achat. L'écart entre les prix s'explique en partie par l'octroi de mer² et la très forte dépendance aux importations (60 % des produits consommés proviennent de la métropole), comme le montre la très faible couverture des importations par les exportations. Cela conduit à des taux de pauvreté en eau importants, par exemple 60 % pour la Martinique (Ireidd, 2017). L'espérance de vie dans les DOM est proche de la moyenne nationale, en revanche la mortalité infantile y est 3 à 5 fois plus élevée (1 % en Guadeloupe et en

1 - Rapport du 13 juillet 2011 sur les finances des communes dans les DOM.

2 - L'octroi de mer est une taxe appliquée sur la plupart des produits importés dans le but de protéger les productions locales de la production extérieure. Elle est définie par les conseils régionaux. C'est une ressource financière essentielle des communes : en Martinique elle représente 48 % des revenus fiscaux des communes de moins de 10 000 habitants.

Guyane, 1,6 % à Mayotte pour 3,3 % en métropole). Lefebvre *et al.* (2015) y voient principalement **une conséquence de l'exposition aux maladies liées à l'eau, en particulier en zone rurale.**

Le secteur de l'eau est également affecté par un manque de formation scientifique dans ce domaine. Peu de jeunes qui s'expatrient pour leurs études reviennent « au pays ». **L'insuffisance des compétences**

● 1.3 Le cadre réglementaire national

Les DOM sont soumis au même cadre réglementaire que les territoires métropolitains. La directive européenne du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux résiduaires urbaines (Deru) fixe le cadre général. Elle impose aux États membres la collecte et le traitement des eaux usées afin de protéger les milieux naturels. Elle définit différents niveaux de traitement en fonction de la taille des agglomérations ainsi que de la sensibilité du milieu. Mayotte, suite à la modification de son statut à l'égard de l'Union européenne (intégration à l'espace commun suite à la départementalisation de 2011) bénéficie d'un délai inscrit dans la loi (directive 2013/64/JE) à échéance de 2020 pour les agglomérations supérieures à 10 000 équivalents habitants (EH), et de 2027 pour celles supérieures à 2 000 EH.

Cette directive a été transposée en droit français dans le code de l'environnement et dans le code général des collectivités territoriales. Les prescriptions techniques en matière de collecte et de traitement des eaux résiduaires urbaines sont définies dans l'arrêté national « assainissement » du 21 juillet 2015 modifié. Le respect d'autres directives européennes (DCE, baignade...), ainsi que des enjeux environnementaux au niveau local peuvent également interférer dans le traitement des eaux résiduaires urbaines et imposer des niveaux de rejet plus sévères.

La France a fait l'objet de plusieurs procédures contentieuses, qui sont aujourd'hui classées, pour non-respect de la Deru. Les DOM ont été concernés par le contentieux « échéance 2000 » pour les agglomérations de plus de 15 000 EH, avec 6 agglomérations (2 à La Réunion et en Martinique, 1 en Guadeloupe et en Guyane). Dans cette procédure, les DOM étaient particulièrement visés car concernés par des non-conformités à la fois sur la collecte et le traitement. Pour le contentieux 2006 (multi-échéances), 6 agglomérations sur 38 ont concerné les DOM, toutes situées à La Réunion. Enfin, le contentieux 2009 portant sur les agglomérations de 2 000 EH et plus, a concerné 16 agglomérations pour les DOM sur les 551 visées (8 pour la Martinique, 6 pour la Guadeloupe et 1 pour La Réunion et la Guyane). En octobre 2017, la France a

locales constitue une limite au développement des services d'eau et d'assainissement sur ces territoires (Lefebvre *et al.*, 2015). Ce constat est cependant relativement hétérogène dans la mesure où certaines zones sont plus attractives que d'autres. Il est par exemple plus aisé de trouver un cadre demandeur d'un emploi à Pointe-à-Pitre qu'à Marie-Galante.

de nouveau été dans une procédure de pré-contentieux pour des manquements à la Deru de 1991 pour des agglomérations de 2 000 EH et plus et multi-échéances. Pour les DOM, étaient citées 15 agglomérations (6 en Martinique, 5 à La Réunion, 3 en Guadeloupe et 1 en Guyane). Une nouvelle étape a été franchie dans la procédure contentieuse avec l'avis motivé adressé par la Commission à la France le 14 mai 2020 pour 169 agglomérations (14 agglomérations DOM) (manquements toujours effectifs à la Deru). C'est une deuxième étape de la procédure pré-contentieuse, précédant la saisine de la Cour de justice de l'Union européenne par la Commission.

Face à cette pression réglementaire, dont l'objectif premier reste la salubrité publique et la protection de l'environnement, des efforts importants de mise en conformité des systèmes d'assainissement ont été entrepris. Les DOM ont ainsi bénéficié de facilités de financement allant jusqu'à 80 % de subventions publiques sur les travaux (nationales et européennes). Cependant, l'état de fonctionnement des petites stations (< 2 000 EH), s'il n'est pas encore pris en compte dans les remontées vers l'Europe, apparaît bien souvent comme menaçant pour l'environnement dans les rapports de contrôle de l'assainissement des Directions de l'environnement, de l'aménagement et du logement (Deal) ainsi que pour la santé publique dans le cadre de la qualité des eaux de baignade réalisée par l'Agence régionale de santé (ARS). Si ces petites stations posent dès à présent des problèmes sanitaires et environnementaux localement, elles pourront générer dans le futur des pressions de plus en plus fortes d'un point de vue réglementaire.

■ Les moyens financiers

Le rapport interministériel sur la question de l'eau et de l'assainissement dans les DOM (Lefebvre *et al.*, 2015) souligne les très faibles capacités d'autofinancement des services d'eau potable et d'assainissement dans les DOM. Elles sont imputables à une faible assiette pour la perception de la redevance (moindre population dans

les DOM) aggravée par le problème généralisé sur tous les territoires de raccordement des usagers au réseau, ainsi que de facturation et de recouvrement des factures, ainsi qu'à de fortes charges d'exploitation (personnels et entretien des ouvrages).

Selon un bilan général dressé par la Direction de l'eau et de la biodiversité du ministère de la Transition écologique, entre 2007 et 2013, 495 millions d'euros auraient été investis dans l'assainissement dans les DOM sur cette période. L'origine des fonds était répartie de la manière suivante :

- autofinancement et emprunts (Agence française de développement AFD) : 34 % ;
- fonds européen de développement régional (Feder) : 38 % ;

1.4 Plan Eau-DOM

Si les représentants de l'État (Offices de l'eau, Deal, ARS...) sont en appui auprès des collectivités territoriales sur les questions d'eau et d'assainissement, il est apparu des problèmes de gouvernance nuisant à l'efficacité des actions financées. L'État devant assurer l'efficacité des actions qu'il finance, a conduit à la création d'un plan Eau-DOM pour renforcer la gouvernance des collectivités, développer les capacités techniques et financières des services, redéfinir les priorités techniques pour un service de qualité et durable ainsi que d'intégrer les politiques de l'eau dans le développement des territoires.

Le principe du plan Eau-DOM est de restructurer le débat entre les opérateurs de l'État et les collectivités, à travers l'instauration d'un guichet unique permettant l'accès à l'appui des différents bailleurs dans les DOM (État, OFB, AFD, Caisse des Dépôts, Offices de l'eau). Leurs fonds sont mobilisables uniquement dans le cadre d'une démarche de contrat de progrès, c'est à dire la contractualisation de chaque établissement public de coopération intercommunale des DOM sur des engagements sur 5 ans mini-

1.5 Conclusions

Cette première partie permet d'identifier les contraintes auxquelles doit faire face l'assainissement dans les DOM :

- la problématique des réseaux, plus fragiles qu'en métropole par ce qu'ils sont soumis à des contraintes supérieures, ce qui se traduit par de multiples problèmes sur les ouvrages de traitement (ECP/ECM⁴, surcharges hydrauliques, bactéries filamenteuses...) ;
- des moyens financiers (assiette plus faible, raccordement, factures impayées...) et humains (formations) plus

- financeurs locaux : 15 % (département et régions 7 %, offices de l'eau 8 %) ;
- État (Agence française pour la biodiversité AFB³ et ministère des Outre-mer) : 13 %.

Les fonds provenant de l'AFD (78 millions d'euros en 2017 principalement sous la forme de prêts bonifiés [AFD, 2019]) et de l'OFB (25 millions d'euros annuels) sont des conditions *sine qua non* à l'amélioration de l'assainissement, accompagné d'une ingénierie financière locale apte à gérer les projets et les choix technologiques et stratégiques adaptés au contexte local. Ils s'accompagnent parfois d'une volonté locale forte des Offices de l'eau. À titre d'exemple, l'Office de l'eau de la Martinique a apporté plus de 35 % des financements sur la période 2010-2019 pour faire émerger des projets.

num, mais dans une perspective décennale, sur la base de diagnostics conjoints. Ces contrats intègrent un plan d'investissement, mais aussi un plan d'actions et des indicateurs de suivi et d'objectifs. Ils visent à développer les capacités d'autofinancement, qui sont les leviers de mobilisation des fonds d'accompagnement. Les investissements contribuant à l'amélioration des recettes (raccordements, réduction des impayés...) et à la diminution des charges sont privilégiés, et toute dépense générant de nouveaux coûts de fonctionnement doit être minutieusement étudiée. Ces contrats instaurent des comités techniques sur chaque territoire, au sein desquels les projets sont présentés et débattus entre la collectivité et les opérateurs de l'État.

Le plan Eau-DOM est porté localement par les Deal avec les Offices de l'eau. La première vague de contrats de progrès a été signée entre 2018 et 2019, et il est encore trop tôt à l'heure actuelle pour en tirer un premier bilan.

limités et qui pèsent sur l'entretien et la maintenance des ouvrages ;

- une dépendance à la solidarité nationale et internationale pour le financement des infrastructures ;
- les surcoûts pour la réalisation des ouvrages, ainsi que la disponibilité du matériel électromécanique et des pièces de rechange ;
- les fortes densités de population et la problématique foncière associée.

3 - L'AFB est devenu au 1^{er} janvier 2020 l'Office français pour la biodiversité (OFB) suite à sa fusion avec l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS).
4 - ECP : eaux claires parasites – ECM : eaux claires météorites.

2 - Panorama de l'assainissement dans les DOM

L'opérationnalité de la politique nationale est encore très variable selon les territoires et reste globalement encore assez éloignée des objectifs, en particulier pour les petites et moyennes collectivités. Cela se traduit, entre autre, par des degrés différents de remontées d'information dans le système national (Roseau/Sispea), pourtant obligatoire depuis l'exercice 2015 pour toutes les agglomérations de

plus de 3 500 habitants : la comparaison basée sur des indicateurs chiffrés est donc limitée. Quelques-uns sont tout de même présentés dans le Tableau 3. En complément, une synthèse des informations disponibles auprès des différents opérateurs de l'État sur ces territoires est présentée.

Tableau 3 **Caractéristiques de l'assainissement collectif (AC) dans les DOM**

	Guadeloupe	Martinique	Guyane	La Réunion	Mayotte	France
Linéaire de réseau eaux usées (km)	507	543	355	1 589	121	
Taux de renouvellement moyen annuel (5 dernières années)	0,22 %	0,43 %		0,10 %		0,43 %
Linéaire moyen pour desservir un abonné (m)	6,7	6,1	10,4	8,5	11	5,6
Part des foyers raccordés à l'assainissement collectif	39 %	49 %	45 %	52 %	19 %	81 %
Capacités cumulées des stations de traitement des eaux usées en service (EH)		395 000		676 000	68 000	104 millions
Taux de charge moyen du parc *		53 %		63 %	36 %	54 %***
Proportion de boues extraites**	44 %	49 %		71 %		
Prix du service AC / m ³ sur la base de 120 m ³ /an	2,53 €	2,43 €	1,73 €	1,41 €	1,61 €	1,93 €
Part des factures impayées	38 %	13 %		5 %	12 %	

* Le taux de charge moyen du parc est estimé sur la base déclarations des collectivités dans Sispea pour 2016.

** Les déclarations de boues produites par les ouvrages sont comparées à une production théorique calculée à partir des charges entrantes en utilisant la formule du binôme simplifiée (Duchène, 1999).

*** 54 % pour les STEU > 2 000 EH (Stricker *et al.*, 2018), 55 % pour < 2 000 EH (Mercoiret, 2010).

Données : Sispea 2016 (2018), Office de l'eau de La Réunion (2018), SIEAM (2016), Lefebvre *et al.* (2015), Wittner et Wéry (2013).

2.1 L'assainissement collectif

La situation des DOM du point de vue de l'assainissement collectif est très hétérogène. Si pour La Réunion, territoire le plus équipé, le choix a été de mettre en œuvre une approche centralisée (16 STEU de tailles comprises entre 4 500 et 170 000 EH), les autres DOM sont quant à eux moins centralisés. Avec 1 600 km de réseau, La Réunion est de loin la plus ramifiée grâce à un rythme soutenu et stable des extensions et raccordements. Cela a permis de passer la part de la population en assainissement non collectif (ANC) de 58 à 48 % entre 2009 et 2016. La priorité ayant été portée sur les territoires les plus denses, poursuivre cet effort de centralisation devrait accroître les coûts d'investissement. De plus, le taux de renouvellement des réseaux étant bas, il est à attendre également dans les années à venir un besoin financier accru pour leur entretien. Dans les Antilles, le degré de centralisation est moindre avec, à l'instar de la Martinique, une part plus importante du nombre de stations inférieures à 2 000 EH (90 % du parc pour une capacité de 15 % en Martinique - Figure 2a). À Mayotte, la situation est plus critique. Sur la base des consommations d'eau potable et des volumes d'eaux usées accueillis sur le parc de STEU, le SIEAM (Syndicat intercommunal d'eau et d'assainissement de Mayotte – devenu le SMEAM au 1^{er} janvier 2020) estimait en 2016 le taux de restitution des eaux usées à 4 % des volumes d'eau potable produits. Ceci est également à mettre en relation avec le coût élevé du raccordement au réseau (coût accru par la topographie des DOM qui nécessite souvent des postes de relevage) qui conduit les ménages à ne pas se raccorder.

Sur les 35 STEU exploitées par le SMEAM présentes sur l'île, seules 6 ont une capacité supérieure à 1 000 EH. La capacité totale du parc permettrait à l'heure actuelle de traiter les rejets de 34 % de la population de l'île. Pour atteindre les 76 % de population en assainissement collectif affiché par le zonage d'assainissement de 2006, et ainsi répondre aux obligations réglementaires d'ici 2027, le schéma directeur d'assainissement (2015) prévoyait la construction 29 nouvelles STEU de 260 à 45 000 EH, 340 km de réseau, 11 000 boîtes de branchement et 2 unités de co-compostage pour la gestion des boues produites. Les besoins en financement sont estimés à entre 700 et 800 millions d'euros, soit 90 millions d'euros par an d'ici 2027. À titre de comparaison, en 2015 le SIEAM a investi 13,6 millions d'euros dans les infrastructures d'assainissement. Un premier contrat de progrès a été signé en 2018, il apporte 140 millions d'euros sur 3 ans, dont la moitié pour l'assainissement. En 2019, le SIEAM n'était plus en capacité d'investir sur ses fonds propres, ni même d'exploiter les ouvrages déjà existants. On réalise l'importance de mettre en adéquation les choix techniques aux besoins d'exploitation qu'ils génèrent afin de fiabiliser le recouvrement des besoins.

Outre l'importance des aspects financiers, la planification de l'assainissement nécessite de justifier les choix liés au degré de centralisation. Néanmoins, la part de l'assainissement non collectif et des petites et moyennes collectivités devrait rester importante au regard des contraintes locales qui pèsent sur l'investissement et l'entretien des réseaux, et l'impact du climat sur leur fonctionnement.

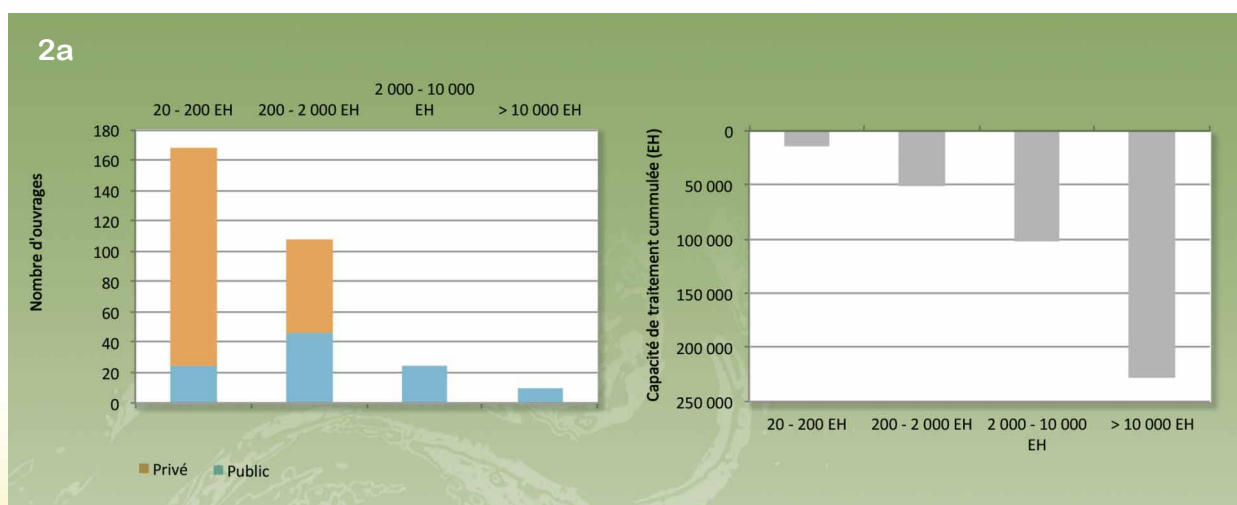


Figure 2a. Composition du parc de STEU martiniquais en fonction de la capacité des ouvrages en 2011. Données Deal Martinique (2014).

À Mayotte, à l'exception de la STEU du Baobab de Mamoudzou (30 000 EH), les principales STEU du SMEAM reçoivent une charge inférieure à 10 % de leur capacité nominale (SIEAM, 2016), pour une moyenne à 36 % au niveau de l'île. La raison principale est due au très faible taux de collecte des réseaux, du fait du lent raccordement de la population, ce dernier se faisant à leur charge. Les bilans réalisés dans le cadre d'expertises en vue de l'actualisation du schéma directeur d'assainissement (SDA) font état d'une situation catastrophique du parc, avec la plupart des ouvrages en dysfonctionnement ou à l'arrêt (Entech, 2015). Il n'existe pas à l'heure actuelle de solution pour la gestion des boues produites par le traitement des eaux usées autre que l'enfouissement en décharge, très onéreux (coût correspondant à 165 % du coût d'élimination par co-compostage selon l'étude du SIEAM, 2016).

L'assainissement à Mayotte est encore balbutiant et une partie des choix de systèmes d'assainissement retenus dans le SDA semble loin de la réalité de la majorité des Mahorais. Plus de 30 % des ménages n'ont pas d'accès privés à l'eau potable et 59 % d'entre eux ne sont pas équipés de toilettes à chasses (SIEAM, 2016), ce qui explique également en partie leur faible raccordement au réseau.

Il n'existe pas de synthèse sur les performances des installations de traitement, pour aucun des DOM. Toutefois, étant donné que le parc de STEU est principalement composé de procédés type boues activées, le taux d'extraction des boues reflète en partie la qualité du traitement. La production de boues par les stations réunionnaises est en croissance continue, elle a doublé entre 2012 et 2016 (Office de l'eau de La Réunion, 2018). Elle correspond à 71 % de la production théorique au regard des charges entrantes sur les ouvrages. C'est largement supérieur à ce qui est constaté dans les autres

DOM, même si la valeur doit être nuancée du fait de l'acceptation sur certains ouvrages d'un volume inconnu de matières de vidanges issues de l'ANC. Les ¾ des boues réunionnaises sont épandues, dont une partie sous la forme de pellets faisant l'objet d'une commercialisation.

Paradoxalement, la redevance assainissement à La Réunion est la plus faible des DOM (75 % de la moyenne nationale, Tableau 3). Pourtant, à La Réunion comme dans les autres territoires ultra-marins, une révision conséquente du prix de l'eau est indispensable, tant pour mettre en place une véritable gestion patrimoniale et garantir la pérennité des investissements réalisés, que pour l'extension des réseaux de collecte de manière à « rentabiliser » les investissements consentis pour le traitement.

La Figure 2b présente la conformité du parc de STEU martiniquais en fonction de la capacité des ouvrages. Il a été réalisé sur la base des données d'auto-surveillance transmises par les exploitants, ainsi que sur les résultats des contrôles réalisés par le service police de l'eau (SPE), soit une cinquantaine d'ouvrages par an. Le taux de non-conformité issu des contrôles de terrain (43 %) est plus élevé que le taux de non-conformité au vu des données d'auto-surveillance (31 %). Le SPE l'explique par le fait que les contrôles sont orientés vers des ouvrages supposés moins performants, ainsi que par les règles de tolérances qui permettent aux exploitants, en répétant les campagnes de mesures d'éliminer quelques résultats dépassant les seuils réglementaires.

Les ouvrages de grandes capacités sont largement conformes aux exigences réglementaires, mais la proportion diminue rapidement selon la capacité (à peine 1/3 des STEU 2 000 – 10 000 EH). En dessous de 2 000 EH, la situation est très préoccupante : moins de 5 % des ouvrages sont conformes à la réglementation.

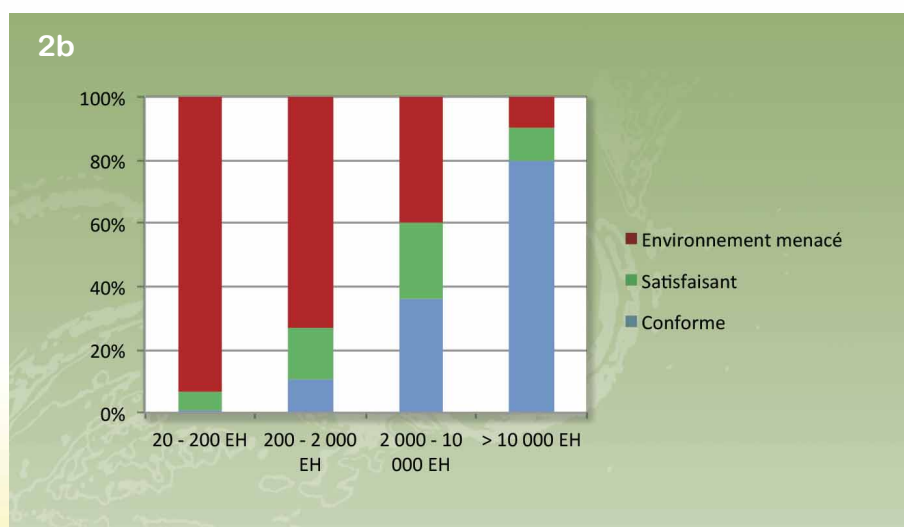


Figure 2b. Conformité du parc de STEU martiniquais en fonction de la capacité des ouvrages en 2011. Données Deal Martinique (2014).

2.2 L'ANC transitoire, une spécificité des DOM

Au cours des dernières décennies, la forte extension urbaine a vu les nouveaux lotissements bâtis être dotés de petits réseaux de collecte des eaux usées associés à des STEU de petites tailles. Construites par les promoteurs immobiliers en même temps que les logements avant que le réseau collectif ne soit mis en place, ils correspondent à un ANC transitoire puisqu'appelés à disparaître une fois le réseau présent. Les critères qui conduisent aux choix technologiques sont bien souvent une moindre emprise au sol et un coût de construction minimum. Ces stations et leurs réseaux sont à la charge de la copropriété. Initialement, du point de vue juridique ces ouvrages relèvent de l'ANC puisqu'ils sont sur le domaine privé, même s'ils sont en zonage assainissement collectif. Ils sont par la suite fréquemment rétrocédés à la collectivité (souvent contre son gré) qui se retrouve à devoir gérer une multitude de petits ouvrages aux performances désastreuses, rarement compatibles avec les obligations réglementaires qui leur sont imposées (définie au niveau de l'agglomération d'assainissement). Cette situation est très répandue dans l'ensemble des DOM : La Réunion

compte plus de 460 ouvrages de ce « type » (Office de l'eau de La Réunion, 2018), la Guadeloupe au moins 309 (Office de l'eau de la Guadeloupe *et al.*, 2011).

En 2014, l'Office de l'eau de la Guadeloupe et Ginger Caraïbes ont effectué une étude du parc de stations 20 – 2 000 EH sur son territoire. Sur 309 ouvrages, 80 ont été audités. Sur cet échantillon, l'âge moyen des stations est de 15 ans. Les boues activées représentent à elles seules 69 % du parc composé au 2/3 de station de capacité inférieure à 500 EH. 78 % des STEU présentaient des dégradations et 84 % des pannes matérielles. 28 % étaient à l'abandon et n'étaient pas exploitées. Des défauts de recirculation ou d'extraction des boues ont été constatés dans 78 % des cas. 80 % des stations présentaient une forte sensibilité aux ECM et aux ECP. Une seule station avait un plan de gestion des boues et des sous-produits issus du traitement des eaux usées.

Dans ce contexte particulier, les choix technologiques mis en œuvre sont de première importance pour garantir un fonctionnement satisfaisant et adapté à un mode de gestion réaliste pour ce type de capacité.

2.3 L'ANC en traitement individuel à la parcelle, un chantier colossal qui peine à se mettre en place

L'ANC concerne la majorité de la population des DOM (de 81 % de la population à Mayotte, à 48 % à La Réunion, Tableau 3 p. 7). Une partie relève en réalité d'un traitement semi-collectif tel qu'il a été caractérisé au paragraphe précédent, mais l'assainissement individuel en tant que tel reste très largement répandu. Si les DOM sont soumis à la même réglementation que pour la métropole, il n'existe pas en 2018 de documents de synthèse sur l'état du parc ANC. Les retours du terrain indiquent que la phase de diagnostic initiale est en cours. Les premiers retours, pas encore consolidés, indiquent des taux de conformité allant de quelques pourcents à quelques dizaines de pourcents maximum. Les services publics chargés de l'assainissement non collectif (Spanc) ont du mal à se mettre en place et à recruter du personnel compétent. Le parc à expertiser est immense (estimé à 173 000 installations à La Réunion) et la population est très réticente. L'application prochaine de la Loi NOTRe qui vise à ce que la compétence assainissement soit systématiquement déléguée à l'échelle des intercommunalités, incite les plus petites collectivités à attendre 2026. À Mayotte par exemple, le premier Spanc date de 2019 (communauté de communes de la Petite Terre) et le second sur 17 communes (Spanc de la Cadema) est en 2021 au stade de "préfiguration".

Le chantier est important et les problématiques complexes :

- faibles revenus des ménages ;
 - problème foncier, les parcelles sont souvent exigües ;
 - forte emprise au sol des filières traditionnelles (filtre à sable) et absence de sable disponible dans les territoires ;
 - les filières agréées sur plateforme l'ont été en métropole et ne sont pas adaptées à la zone tropicale (surcharges hydrauliques notamment) ; la formation des installateurs semble être limitée et ils ne proposent pas d'entretien ;
 - le coût moyen d'une vidange dans les DOM est de 900 € (2 à 3 fois les coûts pratiqués en métropole) ;
 - il n'y a que peu de contrôle de la gestion des boues de vidange, pas plus que de débouchés pour leur traitement.
- L'importance de la population sous le régime de l'ANC, la problématique de l'adaptation des filières au milieu tropical, de la gestion des boues et du contrôle des installations font de l'ANC une thématique forte à accompagner dans les DOM. Dans la mesure où les Office de l'eau et la solidarité interbassins n'ont pas vocation à financer l'assainissement non collectif, la tendance est au raccordement aux réseaux collectifs avec les problèmes identifiés précédemment au niveau des réseaux. Des inflexions sont en cours pour pallier les problèmes de financement des particuliers : l'ODE de Martinique propose un dispositif de financement des particuliers pour l'ANC ainsi que pour le raccordement au réseau.

2.4 Conclusions

À l'issue de ce panorama de l'assainissement dans les DOM, les grandes tendances de la situation actuelle sont les suivantes :

- la gestion des boues et des sous-produits issus du traitement des eaux usées domestiques est problématique ; à l'exception de La Réunion, il n'y a pas de débouché ni de vision claire à l'échelle des territoires. En Guadeloupe, un schéma directeur propre aux boues est adossé au plan régional de gestion des déchets mais sa mise en œuvre est compliquée ;
- pour l'assainissement collectif, en dessous d'une capacité de 2 000 EH les stations montrent de nombreux dysfonctionnements. Ce qui est renforcé par le phénomène d'ANC transitoire ;

- l'assainissement non collectif concerne plus d'un habitant sur 2, et bien que l'on ne connaisse pas encore précisément l'ampleur des tâches à accomplir, la plus grande partie du parc semble devoir être remplacée. L'ensemble de la filière est au mieux à renforcer, du diagnostic initial à la gestion des sous-produits en passant par la réalisation et l'entretien. Du point de vue des procédés de traitement, une adaptation des procédés au contexte local serait nécessaire ;
- de ce fait, la dynamique générale est à la centralisation autour de grosses unités de traitement. Il n'y a cependant à l'heure actuelle pas de vision claire des performances de ces ouvrages, ni de leur soutenabilité financière sur le long terme.

3 -Le petit collectif : action OFB-INRAE dans les DOM (2008-2018)

Depuis 2008, l'OFB et INRAE (anciennement Onema/AFB et Cemagref/Irstea respectivement) ont un partenariat de recherche pour le développement de l'assainissement dans les DOM. L'objectif initial était de proposer des technologies de traitement adaptées aux petites collectivités d'outre-mer. La partie 2 a en effet montré qu'en dessous de 2 000 EH, les performances des STEU sont très largement non conformes.

Les travaux ont principalement été menés sur l'adaptation des filières métropolitaines dénommées filtres plantés de roseaux (FPR) pour les raisons suivantes.

- **Gestion simplifiée des sous-produits de l'assainissement** : les FPR sont alimentés avec des eaux usées brutes et permettent un traitement conjoint des eaux et des boues sur le même ouvrage. Tous les 10-15 ans les filtres doivent être curés et les boues produites sont stables, à une siccité supérieure à 30 % et valorisable en agriculture. Les FPR permettent donc une formidable simplification des tâches d'exploitation sur la gestion des sous-produits (sables, graisses, boues primaires et boues secondaires) par rapport aux procédés de traitement conventionnels pour lesquels une extraction régulière doit être organisée, accompagnée bien souvent d'un ou plusieurs traitement(s) complémentaire(s).

- **Pour des raisons économiques** : la comparaison des coûts des différents procédés de traitement en France métropolitaine montre que les FPR présentent des coûts de construction inférieurs à ceux des procédés intensifs

pour les petites et moyennes collectivités, et ce d'autant plus si l'on intègre les coûts d'exploitation. Dans les DOM, d'autres facteurs liés au coût de la main d'œuvre, à l'éloignement géographique sont à prendre en compte : coûts de transport du matériel électromécanique, disponibilité des pièces de rechanges... alors que les FPR sont largement composés de matériaux locaux (graviers).

- **Simplicité d'exploitation** : les FPR sont des procédés de traitement extensifs, c'est-à-dire qu'ils maximisent des processus naturels sans apport d'énergie. Il y a peu, voire pas de besoins en électricité (fonctionnement entièrement gravitaire possible) ni en réactifs chimiques. Les tâches d'exploitation sont simples (Epnac, 2014), consistant principalement à actionner des jeux de vannes et à entretenir les végétaux. De ce fait, l'exploitation des FPR peut être réalisée par du personnel peu qualifié.

- **Fiabilité de traitement** : les FPR ont montré leur robustesse en France métropolitaine face à des variations de charges hydrauliques (Molle *et al.*, 2006 ; Arias *et al.*, 2014) ou de charges organiques (Boutin et Prost-Boucle, 2015). Cela constitue par conséquent un atout non négligeable pour faire face à des pluies tropicales ou à des variations de charges saisonnières (tourisme).

Pour l'ensemble de ces raisons, cette filière apparaissait comme pertinente pour le contexte des DOM mais nécessitait des adaptations de conception et de dimensionnement ainsi qu'une validation de ces ouvrages optimisés au milieu tropical. Quels types de filtres et quelles filières pour quel niveau de rejet, quel dimen-

sionnement en climat tropical, quelles plantes locales utiliser, quelles contraintes d'exploitation ou quelle résilience face aux aléas climatiques ? Autant de questions qui ont été abordées dans le cadre de l'action OFB-INRAE ainsi que le projet Attentive.

3.1 Adaptation des filtres plantés à la zone tropicale

Les FPR sont des procédés de traitement des eaux usées par culture fixée sur support fin et font partie de la famille des *Treatment Wetlands* (Dotro *et al.*, 2017) qui s'inspirent des capacités de traitement naturelles des écosystèmes des zones humides. Initiée en Allemagne dans les années 60-80, la recherche sur ces procédés de traitement en France a démarrée dans les années 80 (Boutin, 1987) pour aboutir à des règles de dimensionnement validées de ce qui deviendra le système français (Molle *et al.*, 2005). Son originalité est d'être alimenté directement avec les eaux usées brutes, ce qui permet une gestion conjointe des eaux et des boues sur un même ouvrage.

La famille des FPR comporte différents procédés : écoulement vertical (Figure 3), horizontal, non saturé/saturé (Figure 5) dont les enchaînements peuvent être variés pour composer la filière d'assainissement au regard des contraintes locales et des objectifs de traitement. D'une manière générale, ces procédés se composent systématiquement d'un milieu granulaire dans lequel les eaux percolent et sur lequel la biomasse épuratrice se développe.

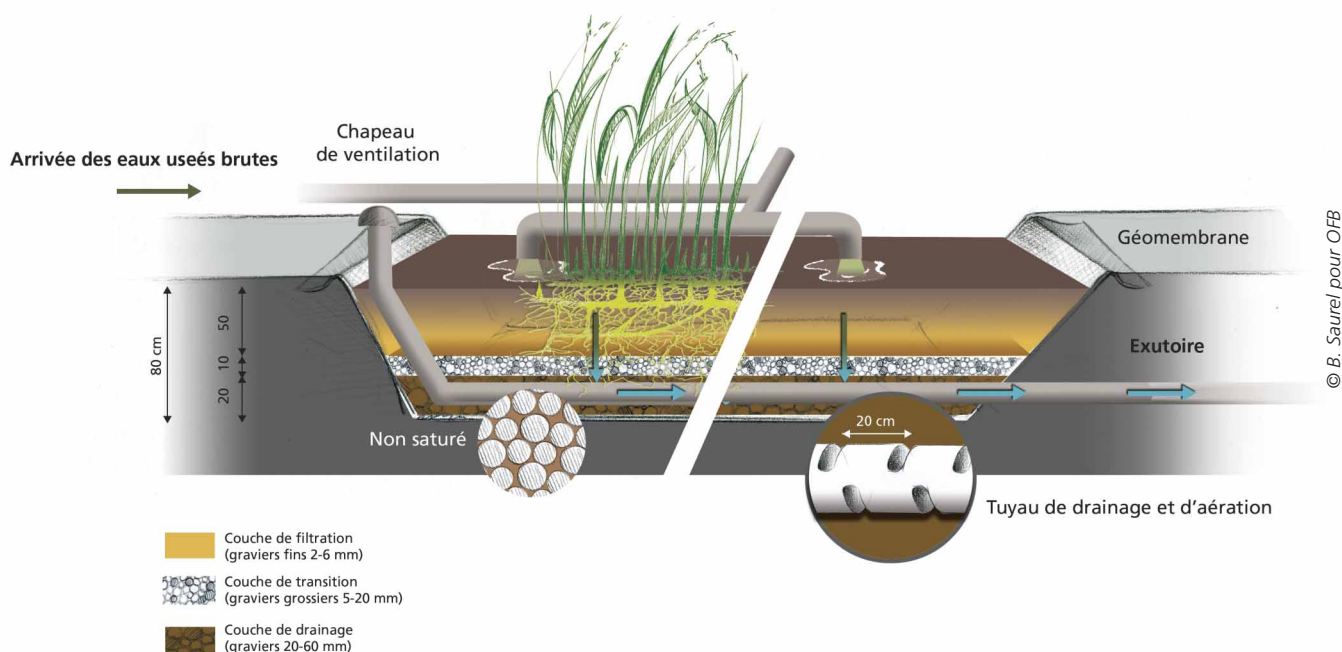


Figure 3. Coupe transversale schématique d'un FPR à écoulement vertical. Lombard-Latune et Molle, 2017.

Les plantes présentes à la surface du filtre ont une action décolmante sur le dépôt de surface. Sous l'action du vent, leurs tiges vont former des anneaux dans la couche de dépôt organique qui s'accumule en surface (Figure 4). Ces anneaux vont permettre d'éviter

le colmatage de surface du système en facilitant l'infiltration des eaux usées et les échanges de gaz. Du point de vue du traitement des eaux, le prélèvement métabolique par les plantes est anecdotique étant donnée les charges appliquées.



Figure 4. Illustration du rôle mécanique des végétaux sur les lits de séchage de boues plantés de roseaux.

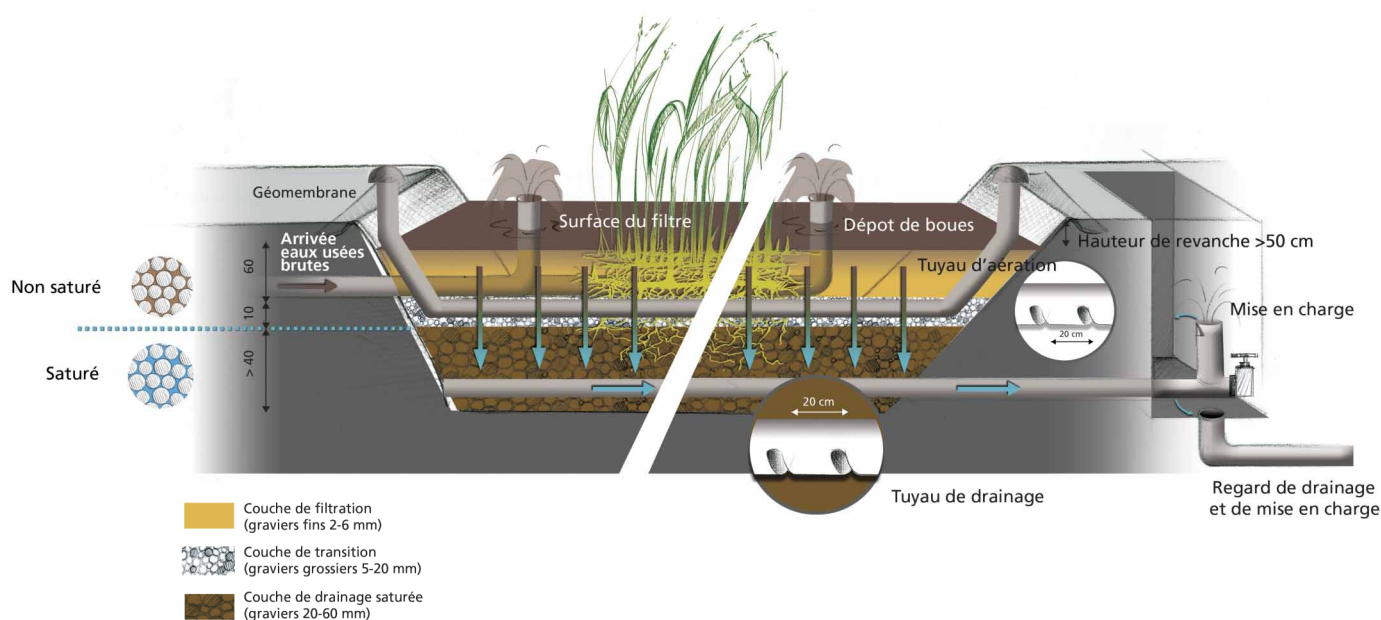


Figure 5. Coupe transversale schématique d'un FPR à écoulement vertical. Lombard-Latune et Molle, 2017.

Ces systèmes reposant sur des mécanismes fortement dépendant de la température (activité biologique pour le traitement, minéralisation des dépôts organiques...) une adaptation du dimensionnement était nécessaire pour le contexte tropical. De même, les matériaux présents sur place, les végétaux locaux et les conditions climatiques (temps de pluie) extrêmes nécessitaient des adaptations à valider. Le *Phragmites australis* étant considéré comme invasif dans la plus grande partie de la zone tropicale, un travail a été réalisé de manière à identifier des plantes de substitution ce qui a eu

notamment comme conséquence de faire évoluer le nom de la filière vers des filtres plantés de végétaux (FPV). Ces travaux ont été menés dans le cadre de l'action DOM OFB-INRAE ainsi que dans le cadre du projet Attentive.

■ Dimensionnement des FPV

L'évolution du dimensionnement avait pour objectif de répondre à différents enjeux que sont la difficulté à trouver du sable de qualité et la nécessité de proposer des filières compactes face à la problématique foncière.

Si les températures favorables à l'activité biologique autorisaient une réduction des surfaces de filtre, il fallait en revanche s'assurer de maintenir la robustesse des procédés face aux événements climatiques extrêmes des régions tropicales. Les travaux ont donc consisté à étudier des filières mono étage (impact de la hauteur de matériaux, de la recirculation, de la succession de couches non saturées/saturées) afin de ne pas avoir à utiliser de sable et réduire l'emprise foncière. De même, pour s'adapter aux conditions climatiques, le choix a été fait de réduire la surface par une diminution du nombre de filtre en parallèle plutôt que la surface unitaire de chaque filtre afin de garder la capacité des ouvrages à accepter des surcharges hydrauliques par temps de pluie. Il a pu être validé que les températures clémentes tout au long de l'année permettent de gérer la problématique du colmatage avec une alternance sur seulement deux filtres (Molle *et al.*, 2015).

Il a ainsi pu être possible de valider différentes filières dont les plus compactes mettent en jeu une surface de filtre de 0,8 m²/EH. Les règles de dimensionnement et de conception des FPV sont présentées dans un guide qui détaille également les performances des ouvrages et le choix de la variante de FPV à mettre en œuvre en fonction des objectifs de traitement imposés (Lombard-Latune et Molle, 2017).

■ Quelles plantes pour les FPV ?

La question du choix des végétaux à mettre en œuvre sur les FPV a fait l'objet d'une étude spécifique durant 2 ans.

Dans un premier temps, une liste de critères devant être remplis par les végétaux de substitution a été établie pour garantir à la fois le rôle mécanique recherché, l'adaptation au milieu particulier que sont les FPV et la validation par les services phytosanitaires de l'État.

Une liste d'une centaine de végétaux a ainsi été constituée sur la base de références bibliographiques, d'échanges avec des botanistes locaux, de glanage dans le milieu naturel et d'identification. Chaque espèce a été évaluée sur la base d'informations disponibles dans la bibliographie pour chacun des critères établis précédemment.

Les espèces les plus intéressantes ont été testées à l'échelle pilote selon un protocole spécifique visant à évaluer leurs résistances aux 2 principaux stress induits par les FPV (stress hydrique et anoxique).

Les espèces les plus prometteuses ont enfin été étudiées *in situ* sur des filtres en taille réelle dans 3 DOM (Guyane, Martinique et Mayotte) pendant plus d'une année afin de confirmer ou non leur potentiel en incluant leur résistance de croissance face à une compétition végétale externe au filtre.

Au final, 3 plantes semblent particulièrement intéressantes pour être utilisées sur les FPV : *Heliconia psittacorum*, *Cana indica* et *Cyperus alternifolius*. Elles sont présentées dans le Tableau 4.

Le détail de l'étude et de ses résultats a fait l'objet d'un rapport disponible en ligne (Lombard-Latune et Molle, 2016).

4

Présentation synthétique des espèces retenues pour les FPV dans les DOM

Tableau

<i>Heliconia psittacorum</i>	<i>Cana indica, cana glauca</i>	<i>Cyperus alternifolius / involucratus</i>
Héliconiacée, ordre des Zingibérales	Canacée, ordre des Zingibérales	Cypéracée, ordre des Poales
		

© INRAE

■ Validation des performances

Les dimensionnements et configurations testées ont été validés en conditions réelles par la mise en place d'un suivi de 7 stations réparties dans 4 des 5 DOM (Tableau 5). L'objectif était de pouvoir valider différentes filières de FPV pour différents objectifs de traitement et

de préciser leurs limites et leurs résiliences face à des aléas aussi bien climatiques que d'exploitation. Les actions menées grâce au soutien de l'OFB ont permis de réaliser une centaine de bilans 24 heures en partenariat avec les acteurs locaux de l'assainissement (Offices de l'eau, collectivités et bureaux d'études).

5 **Présentation des différentes stations pilotes dans la zone tropicale**

Nom	Département	Capacité	Filière	Mise en service	Nombre de bilan	Taux de charge moyen (% charge nominale)	
						Organique	Hydraulique
Hachenoua	Mayotte	110 EH	2 FPV NS, couche filtrante 80 cm	Avril 2006	16	53	65
Bois d'Opale 1	Guyane	300 EH	2 FPV NS, recirculation couche filtrante 30 cm	Mai 2010	9	33	139
Bois d'Opale 2	Guyane	480 EH	2 FPV NS, recirculation couche filtrante 30 cm	Mars 2012	13	29	169
Mansarde Rancée	Martinique	1 000 EH	1 ^{er} étage : 2 FPV NS/S 2 nd étage : 2 FPV	Janv. 2014	3	10	16
Taupinière	Martinique	900 EH	1 ^{er} étage : 2 FPV NS/S 2 nd étage : LB	Nov. 2014	31	84	98
Les Mangles	Guadeloupe	120 EH	2 FPV NS/S, couche filtrante 40 cm	Oct. 2015	17	4	15
Champ d'Ylang 2	Mayotte	190 EH	2 FPV NS, couche filtrante 30 cm	Nov. 2015	7	81	105

Les taux de charge sont calculés pour des charges appliquées de 350 g DCO/m²/j et une lame d'eau de 0,37 m/j, ce qui correspond à un ratio de dimensionnement de 0,8 m²/EH. NS/S : non saturé/saturé. LB : lit bactérien.

Les résultats des suivis ont été détaillés dans plusieurs articles ainsi que dans un guide de dimensionnement et de gestion des ouvrages (Molle *et al.*, 2015 ; Lombard-Latune et Molle, 2017 ; Lombard-Latune *et al.*, 2018). Ils montrent que les performances sont stables, y compris lors d'importantes surcharges hydrauliques (au moins jusqu'à 8 fois les débits de temps sec) voire de défaut d'exploitation. Ces suivis ont permis de définir les niveaux de rejets qui peuvent être garantis pour les différentes configurations comme présentés dans le Tableau 6 (page suivante).

Si les filières testées dans le cadre de ces actions montrent une très bonne adéquation au contexte tropical pour le traitement du carbone et la nitrification, elles ne permettent pas de garantir des traitements poussés sur l'azote total (70 % maximum), le phosphore ou encore les germes pathogènes. Pour cela des filières végétalisées différentes sont nécessaires (FPV avec aération forcée pour garder la compacité) ou les associer à des procédés conventionnels (traitement physico-chimique du phosphore, procédés de désinfection...).

Synthèse des informations présédant au choix des variantes de filtre planté de végétaux (FPV) (Lombard-Latune et Molle, 2017)

Variantes de FPV	Autonomie électrique (hors contraintes topographiques)	Réseau unitaire	Activité intermittente	Emprise au sol des ouvrages de traitement	Performances de traitement garanties : abattement % (concentrations limites mg/L)				Traitement germes pathogènes (module UV)
					DCO	MES	NTK	NT	
2 FPV NS couche filtrante 30 cm	✓	✓	X	0,8 m ² /EH	75 % (125 mg/L)	80 % (50 mg/L)	60 % (40 mg/L)	20 % (60 mg/L)	X
2 FPV NS couche filtrante 30 cm + recirculation	X	✓ (lame d'eau quotidienne < 70 cm)	✓ (attention aux consommations électriques)	0,8 m ² /EH	75 % (125 mg/L)	85 % (30mg/L)	60 % (40 mg/L)	20 % (60 mg/L)	X
2 FPV NS/S couche filtrante 30 cm	✓	✓	✓	0,8 m ² /EH	85 % (125 mg/L)	90 % (25 mg/L)	60 % (40 mg/L)	50 % (50 mg/L)	✓
2 FPV NS couche filtrante 80 cm	✓	✓	✓ possible si recirculation	0,8 m ² /EH	90 % (100 mg/L)	90% (25 mg/L)	80 % (15 mg/L)	20 % (60 mg/L)	✓
2 FPV NS/S + 2 FPVv	✓	✓	✓ possible si recirculation (stress hydrique du deuxième étage)	1,6 m ² /EH	90 % (75 mg/L)	95 % (15 mg/L)	90 % (6 mg/L)	70 % (35 mg/L)	✓
2 FPV NS/S + LB	X	✓	✓	0,9 m ² /EH	90 % (75 mg/L)	95 % (15 mg/L)	90 % (6 mg/L)	70 % (35 mg/L)	✓
2 FPV NS + FPVh	✓	✓	✓	1,8 m ² /EH	85 % (125 mg/L)	90 % (25 mg/L)	70 % (20 mg/L)	70 % (35 mg/L)	✓

✓ = possible X = pas possible

Il n'a pas été possible au cours des suivis dans les DOM de quantifier précisément la croissance de la couche de dépôt organique à la surface des filtres. La minéralisation des boues en climat tropical est rapide et importante. Des mesures réalisées en climat subtropical (Brésil – Trein *et al.*, 2020), sur des filtres à écoulement vertical non saturés avec un dimensionnement similaire à ceux réalisés dans les DOM, montrent une vitesse d'accumulation inférieure à 1 cm/an (contre 2,5 cm/an en climat

tempéré). S'il n'a pas été possible d'évaluer cette vitesse d'accumulation en milieu tropical, et donc de définir précisément la fréquence de curage du dépôt organique, on pressent une période significativement plus longue que les 10 – 15 ans avant curage pratiqués en métropole. On réalise l'intérêt de cette filière en terme de gestion des boues dans des contextes où la filière d'évacuation n'est pas aisée.

3.2 Comparaison des performances avec les procédés conventionnels en conditions réelles d'exploitation

Face au manque de connaissance sur le comportement des différents procédés mis en œuvre pour les petites et moyennes collectivités dans les DOM, il était intéressant de mener une étude spécifique afin de situer l'apport que pourrait permettre les FPV en terme de fiabilité et de qualité de traitement. Une étude a été menée (Lombard-Latune *et al.*, 2020) sur la base d'une analyse statistique des performances des stations de 20 à 2 000 EH de l'ensemble des DOM.

■ Constitution et exploitation de la base de données

Un recensement exhaustif des suivis des ouvrages d'assainissement dans les 5 DOM a été réalisé. Ce sont principalement des données d'auto-surveillance réglementaire qui ont été récupérées au niveau du ministère de la Transition écologique, des Offices de l'eau et des Deal des différents DOM, ainsi que du SMEAM. La base de données a été complétée par les données produites lors d'études ponctuelles réalisées par les Offices de l'eau ou les Deal. 10 039 bilans 24 heures provenant de 1 002 STEU ont ainsi été compilés. Une première étape de tri et de validation des données en utilisant des outils statistiques a été réalisée sur l'ensemble du jeu de données. Une première exploita-

tion des données provenant des stations de capacité inférieures ou égales à 2 000 EH a permis de :

- caractériser les eaux usées brutes dans les DOM, ces dernières ne présentent pas de différences majeures avec ce qui a pu être observé en zone rurale métropolitaine (Mercoiret, 2010) ;
- proposer une définition de la production quotidienne de polluant par l'EH tropical et la comparer avec ce qui a été décrit pour la zone rurale métropolitaine ; à nouveau, aucune différence significative n'a été observée ;
- décrire plus finement le parc de 902 STEU de moins de 2 000 EH que comptent les DOM. La Figure 6 montre que pour 42 % des ouvrages, le type de technologies de traitement n'est pas renseigné (ou il y a contradiction entre les sources). 22 % des ouvrages utilisent des technologies issues de l'ANC (filtres à sable, micro stations...). Ensemble, ces deux catégories couvrent les 2/3 du parc de STEU recensées, et correspondent probablement le plus souvent à des ouvrages de capacités inférieures à 200 EH, et donc non soumises à l'auto-surveillance réglementaire. De ce fait, il y a très peu d'informations sur ces stations. Le procédé de traitement par boues activées est largement majoritaire dans le reste du parc.

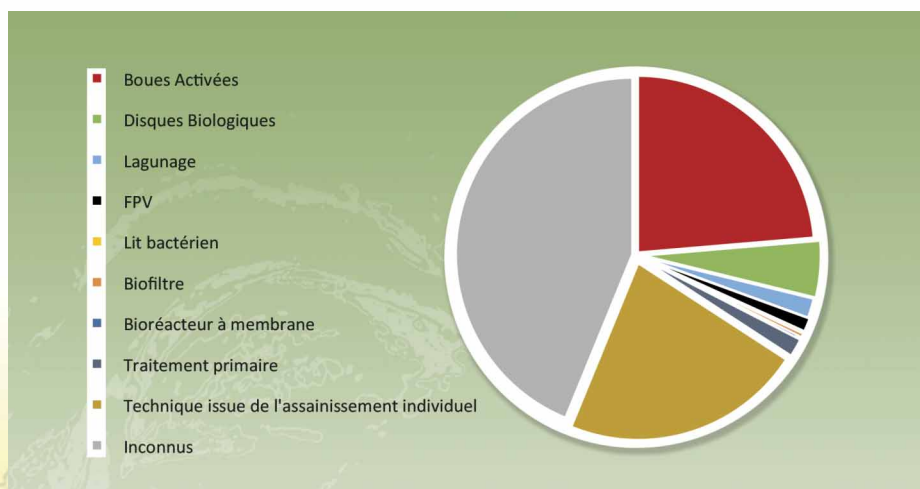


Figure 6. Part des différentes technologies de traitement des eaux usées dans le parc ultramarin.

Sur ces 902 STEU, seules 273 d'entre elles faisaient l'objet de remontées de données. Pour avoir une comparaison fiable des performances des procédés de traitement, un tri a été effectué visant à écarter les procédés pour lesquels moins de 10 bilans étaient disponibles. Il n'est resté finalement que 4 procédés, 962 bilans 24 h pour 213 stations (73 % de boues activées, 16 % de disques biologiques, 6 % de lagunes et 5 % de FPV).

La comparaison des performances est visualisable sur la Figure 7. On retiendra les principales informations suivantes :

- les boues activées, bien qu'étant le procédé le plus employé apparaît le moins fiable. Des rendements nuls ou négatifs sur la DCO et les MES sont observés dans près de 10 % des bilans. Ils s'expliquent par des départs de boues, probablement liés aux surcharges hydrauliques sur les ouvrages à l'occasion des épisodes pluvieux. Des problèmes pour maintenir la nitrification sont également identifiés, à mettre en relation avec les départs de boues ou à des pannes d'appareils électromécaniques (fréquemment observées sur le terrain) ;
- les disques biologiques présentent une sensibilité lors de la phase de séparation des eaux traitées et des boues. Les décanteurs présents sur ce type d'ouvrages sont généralement compacts et nécessitent une exploitation rigoureuse. Par ailleurs, la nitrification étant mal contrôlée sur ces ouvrages, une dénitrification peut avoir lieu dans le décanteur, ce qui amplifie le problème ;
- le développement d'algues dans les lagunes (inhérent au procédé) pèse sur leurs performances, en particulier en conditions de faibles charges, ce qui est souvent le cas dans les DOM, les effluents étant très dilués ;
- enfin, les filtres plantés de végétaux, bien qu'étant la filière de traitement la moins représentée semblent être la plus fiable avec les meilleurs rendements de traitement et les concentrations en sortie de STEU les plus faibles vis-à-vis de la réglementation. Des variations, notamment sur la nitrification, sont bien sûr dépendants des procédés de FPV mis en œuvre.

■ Diagnostics opérationnels

L'objectif de ces diagnostics était d'une part de confirmer les enseignements tirés de l'exploitation de la base de données, et d'autre part de trouver des pistes d'explications pour éclairer le constat. 32 bilans 24 heures ont été réalisés sur 8 STEU (4 boues activées, 2 disques biologiques et 2 lagunes). Les bilans 24 heures donnent des résultats plutôt moins performants que ceux présents dans la base sans que l'on puisse statistiquement les différencier au regard du nombre d'échantillons relativement faible par rapport à la base. Cependant, ces mesures ont permis de confirmer les possibles départs de boues ainsi que les problèmes de décantation sur les disques biologiques.

Ces mauvaises performances trouvent leur cause dans la conjonction de 3 facteurs :

- le dimensionnement des ouvrages présente des différences avec l'état de l'art. Mais à elles seules, ces différences ne permettent pas d'expliquer l'ampleur des contre-performances ;
- l'analyse des cahiers d'exploitation suggère que l'exploitation et la maintenance des ouvrages sont trop limitées (1 à 2 passage par mois en moyenne), ce qui pénalise de manière plus importante les procédés les plus intensifs (boues activées et disques biologiques) ;
- les facteurs climatiques (pluies intenses et fortes températures) impactent les procédés qui sont les moins adaptés à la zone tropicale.

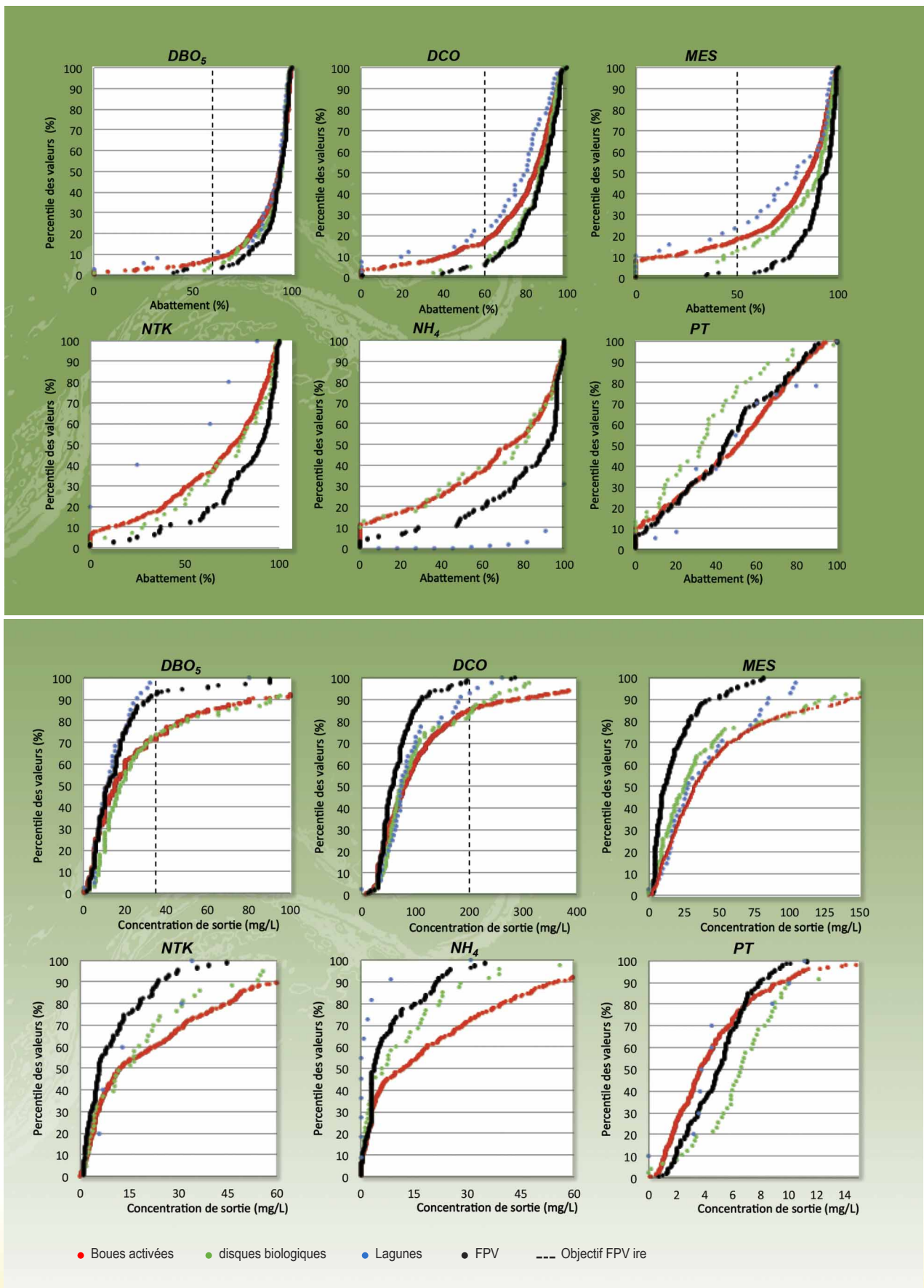


Figure 7. Comparaison des rendements de traitement et des concentrations en sortie des 4 procédés étudiés. Les droites verticales sont les valeurs guides correspondant au minimum de l'arrêt du 21 juillet 2015 pour les moins de 2 000 EH. Les valeurs négatives des rendements ont été ramenées à 0.

3.3 Conclusion

Ces dix années de recherches ont permis de développer un procédé de traitement qui permet de répondre à différents niveaux d'objectifs réglementaires, avec une fiabilité supérieure aux principaux procédés présents dans les DOM. Il ne fait pas de doute que correctement conçus, réalisés et entretenus, les procédés conventionnels puissent avoir des performances au moins comparables à celle des FPV. En revanche, la comparaison des procédés en conditions réelles montrent que les FPV sont mieux adaptés aux conditions tropicales : variations de charges hydrauliques, fortes températures, maintenance limitée.

Ces recherches montrent que les différentes filières FPV sont à promouvoir dans les DOM afin qu'elles puissent être plus systématiquement envisagées en terme de procédé adapté lorsque le foncier où les niveaux de rejet demandés sont en accord avec leurs caractéristiques. Ils peuvent apporter une solution aux problèmes largement répandus que pose l'ANC transitoire et éviter de subir des défaillances récurrentes de certains procédés conventionnels. Des variantes permettent d'atteindre des niveaux de rejets imposés aux agglomérations d'assainissement de plus de 2 000 EH. Il n'est donc plus forcément nécessaire de raccorder le lotissement au réseau collectif et de démanteler l'ouvrage.

Il n'existe pas de limites techniques en termes de capacités pour les FPV. Simplement, au-delà d'une certaine capacité, il est économiquement plus intéressant de se tourner vers des procédés plus intensifs. En climat tempéré, la limite économique se situe autour de 5 000 EH avec les filières traditionnelles de FPV. Dans les DOM, il est probable qu'elle se situe au-delà, du fait de la plus grande compacité du dimensionnement, mais également par ce que leur mise en œuvre nécessite peu de matériel exogène au territoire, que leurs besoins en maintenance sont limités et qu'ils apportent une réponse à la gestion des sous-produits de l'assainissement.

Il existe à l'heure actuelle une trentaine de FPV dans les DOM, majoritairement à Mayotte, ou le premier a été construit en 2006. Certains territoires imposent lors des phases d'études de projets d'assainissement que l'alternative FPV soit systématiquement étudiée, ce qui ne veut pas dire qu'elle soit retenue au final. Les FPV ne sont pas une solution universelle, mais leur adéquation aux contraintes des DOM mérite qu'ils soient envisagés plus largement qu'actuellement, y compris pour des ouvrages supérieurs à 2 000 EH.

4 - Perspectives

Comme l'a montré l'état des lieux de la 2^e partie, l'assainissement pose encore de nombreux défis dans les DOM. Une partie de ces défis sont associés à des dimensions techniques de solution de traitement, pour lesquels les FPV ou des procédés voisins peuvent apporter des réponses, ou des approches différentes de la gestion des eaux usées urbaines. Ces dix années de recherche en climat tropical ont permis de faire ressortir quelques grandes priorités présentées ci-après.

■ La gestion des boues et des matières de vidanges

Il apparaît comme prioritaire à l'heure actuelle dans chacun des DOM de définir à leur échelle respective une stratégie de gestion des sous-produits de l'assainisse-

ment générés par l'assainissement non collectif comme collectif. Si cela est réalisé dans certains DOM (voir le cas de la Guadeloupe⁶), les ouvrages n'ont pas encore été construits. Les lits de séchage plantés de végétaux (LSPV) peuvent être une solution intéressante pour la zone tropicale. C'est un procédé cousin des FPV, adapté au traitement des boues et matières de vidanges. Leur principal atout est de réaliser un traitement des boues (séchage et minéralisation) et permet une réduction de la production de boues de l'ordre de 40 à 50% (en climat tempéré). Les boues étant stockées sur les lits pendant une dizaine d'années leur gestion est d'autant plus facilitée. Après curage les boues sont stables et valorisables en agriculture. Leur application dans les DOM

nécessite néanmoins des travaux de recherche complémentaires pour déterminer les charges appliquées limites et ainsi affiner le dimensionnement, ou le choix des végétaux, le rôle mécanique étant plus important que pour les FPV. Il a été compliqué de faire émerger des LSPV dans les DOM jusqu'à présent. Il n'existe qu'un ouvrage, à Mayotte, mais qui ne reçoit pas de boues à l'heure actuelle.

■ Les FPV pour l'assainissement non collectif

L'assainissement non collectif, à l'échelle d'une habitation, en lien avec l'arrêté du 7 mars 2012, présente des technologies autorisées dont plusieurs ont obtenu un agrément par le biais d'essais sur plateforme selon un protocole défini. Ces essais, conduits uniquement en climat tempéré, montrent également leur fragilité à représenter la réalité du terrain (Boutin *et al.*, 2017). Face à l'impasse que représente le choix d'un procédé de traitement pour l'assainissement non collectif dans les DOM, il convient de trouver des solutions techniques et réglementaires pour faire émerger des filières adaptées au contexte tropical. La probabilité que des acteurs privés se lancent dans une démarche d'agrément sur une filière tropicalisée étant faible au regard des marchés locaux, il semble pertinent de travailler sur une approche plus globale généralisable à l'ensemble des DOM. Dans ce contexte, les FPV pourraient être une des solutions nécessaires à l'enjeu de cet assainissement des territoires ultramarins. Des initiatives locales ont déjà été mise en œuvre en Guyane et à La Réunion afin d'apporter des données sur le comportement des FPV pour l'habitat individuel et faire avancer la problématique.

■ Les FPV pour la gestion des eaux pluviales

La gestion des eaux pluviales en milieu tropical est également un enjeu majeur. Elles peuvent soit impacter le fonctionnement des stations de traitement des eaux usées (bien souvent les petites stations ne sont pas protégées par des déversoirs d'orages) ou encore générer des déversements excessifs même sur des systèmes de collecte répertoriés comme séparatifs. Les stratégies de gestion des eaux pluviales nécessitent plusieurs approches dont la gestion à la source est bien entendu à privilégier. Cependant, la détermination des scénarios de gestion, l'adaptation des techniques de gestion à la source, ou bien encore la gestion par temps de pluie des réseaux nécessitent de faire évoluer les approches métropolitaines pour une adaptation au contexte tropical. C'est un domaine où la recherche peut être pertinente pour faire progresser les territoires. Si les

solutions fondées sur la nature peuvent trouver leur place dans cette thématique, les recherches menées en métropole doivent être également conduites dans les DOM.

■ Un réseau inter-DOM assainissement à consolider

Les différents acteurs publics de l'assainissement dans les DOM rencontrent des problématiques communes, qui sont souvent spécifiques aux DOM. Même s'ils travaillent occasionnellement ensemble (par sous-ensembles géographiques essentiellement), la dynamique mériterait d'être renforcée. Les expériences des uns pourraient profiter à tous. À titre d'exemple, il existe des échanges, informels, sur les procédures de validation des données d'auto-surveillance entre les ODE et les Deal de certains DOM.

À l'instar du GT InterDOM de l'ATANC, la mutualisation de retours d'expériences sur les performances des procédés de traitement pour les petites collectivités mériterait d'être pérennisée. Les travaux autour de la base de données pourraient être poursuivis et amplifiés (sur les grosses collectivités, le traitement des boues, les réseaux...).

■ Des outils d'aide à la décision

La situation de l'assainissement collectif dans les DOM invite à s'interroger sur le modèle d'assainissement collectif à promouvoir. Le modèle très centralisé réunionnais a nécessité des investissements colossaux (0,5 milliard sur 10 ans). Il donne pour le moment plutôt satisfaction, mais les ouvrages sont récents (98 % de la capacité de traitement dépendent de STEU mises en service après 2010). Les problèmes liés au réseau sont fréquents (formation d'hydrogène sulfuré qui attaque les installations de prétraitement, développement de bactéries filamenteuses, vieillissement des réseaux et temps de pluie). Dans un projet d'assainissement, 80 % des coûts de construction sont liés au réseau. Le modèle centralisé n'est peut-être pas le mieux adapté, compte tenu de la durée de vie des réseaux, des risques sismiques et de la pluviométrie intense sur ces territoires, de l'assiette de redevance plus faible qu'en métropole, des moindres revenus disponibles du côté des ménages, et des moyens humains limités pour l'entretien et la maintenance. Par ailleurs, on constate que les choix techniques sur les procédés de traitement effectués sur le terrain ne sont pas toujours pertinents. Il pourrait être intéressant de disposer d'un outil, qui permette lors de la phase de planification de comparer

des scénarios de manière à déterminer quel est le degré de centralisation optimal pour chaque projet. Les scénarios pourraient également intégrer la question des procédés de traitement de manière à ouvrir les choix techniques et à mesurer leurs conséquences.

■ Vers la réutilisation des eaux usées traitées dans les DOM

La question de l'économie circulaire de l'eau émerge aussi dans les DOM. Des recherches à plusieurs échelles devraient être menées sur cette question de manière à définir :

- une méthodologie permettant d'identifier des sites et des usages pertinents pour mettre en place un projet de réutilisation des eaux usées traitées ;
- les procédés tertiaires à mettre en œuvre dans les DOM, en fonction des volumes attendus ainsi que des niveaux de qualité à atteindre.

■ Vers un assainissement collectif sans réseau

Étant donnée le poids des réseaux dans un projet d'assainissement, il peut être intéressant dans certaines situations (communautés Guyanaises ou Mahoraises utilisant exclusivement des toilettes sèches, sites isolés sans eau courante, projets de réhabilitation de l'habitat insalubre...) de proposer des services d'assainissement

collectif, alternatifs au réseau. Ces services permettraient d'améliorer les conditions sanitaires par une prise en charge par la collectivité d'une partie de la chaîne de traitement des matières de vidanges. Ils peuvent être associés à des procédés de traitement non collectifs des eaux ménagères.

D'un point de vue général, les points abordés dans le cadre de ce document sont vus par une approche technologique. Cela ne doit pas occulter la nécessité d'associer des réflexions sur la gouvernance, l'équilibre économique des services (tarification sociale, recouvrement des impayés, investissement, renouvellement...) afin de mettre en œuvre une politique durable à la hauteur des objectifs réglementaires, sanitaires et environnementaux.

Plus largement, si de nombreuses actions sont encore nécessaires, les travaux menés dans le cadre de l'action DOM OFB-INRAE depuis plus de dix ans permettent non seulement de faire évoluer les pratiques mais également de pouvoir mettre en avant le savoir-faire des DOM vers les territoires limitrophes. C'est le cas du projet Intereg Caribsan (démarrage en 2021) de coopération dans les caraïbes que pilote l'Office de l'eau de Martinique.



Bibliographie

- AFD (2019). Eau et assainissement : suivi 2017 de la mise en œuvre de la stratégie 2014-2018. Paris : AFD.
- Arias L., Bertrand-Krajewski J.-L. et Molle P. (2014). Simplified hydraulic model of French vertical-flow constructed wetlands. *Water Science and Technology*, 70 (5), pp. 909-916.
- Boutin C., Olivier L., Agenet P., Parisi S., Artuit P., Branchu P., Decout A., Dubois V., Dubourg L., Dhumeaux D., Jousse S., Leval C., Mouline B., Portier N., Rambert C., Souliac L. et Szabo C. (2017). Assainissement non collectif : le suivi in-situ des installations de 2011 à 2016. 186 p. www.epnac.fr.
- Boutin C. et Prost-Boucle S. (2015). Vertical flow constructed wetlands subject to load variations: an improved design methodology connected to outlet quality objectives. *Water Science and Technology*, 72 (5), pp. 817-823.
- Boutin C. (1987). Domestic Wastewater Treatment in Tanks Planted with Rooted Macrophytes: Case Study; Description of the System; Design Criteria; and Efficiency. *Water Science and Technology*, 19 (10), pp. 29-40.
- DEAL Martinique (2014). Rapport de contrôle de l'assainissement. Année 2012. Fort-de-France : DEAL, pôle police de l'environnement, 48 p.
- Dotro G., Langergraber G., Molle P., Nivala J., Puigagut J., Stein O. et Von Sperling M. (2017). Treatment wetlands. *Biological Wastewater Treatment Series, Volume 7: Treatment Wetlands*. IWA publishing, 184 p.
- Duchène P. (1999). Estimation de la production des boues. Cemagref, groupement d'Anthony, 99/0688, 10 p.
- Entech (2015). Tierce expertise du schéma directeur d'assainissement de Mayotte. Rapport d'expertise globale, partie 1. Mèze : Entech, 697 p.
- EPNAC (2014). Guide d'exploitation de la filière Filtre Plantés de Roseaux. Lyon : Irstea, 30 p. www.epnac.fr.
- Institut national de la statistique et des études économiques. Portail de l'INSEE. INSEE, 2019. Disponible sur : <https://www.insee.fr/fr/accueil>.
- IREDD (2017). Études de définition de la politique sociale des services d'eau potable et d'assainissement de Martinique – Rapport final. 181 p + annexes.
- Lefebvre E., Roche P.-A., Colas-Belcour F., Vial J.-C., Tandonnet M. et Rébeillé-Borgella E. (2015). Propositions pour un plan d'action pour l'eau dans les départements et régions d'outre-mer et à Saint-Martin. Rapport CGEDD n°009763-01, CGAAER n°14065, IGA n°15-050/14-063/01.
- Lombard-Latune R., Lერიquier F., Oucacha C., Pelus L., Lacombe G., Le Guennec B. et Molle P. (2020). Performance and reliability comparison of French Vertical Flow Treatment Wetlands with other decentralized wastewater treatment technologies in tropical climates. *Water Science and Technology*, 82(8), 1701-1709.
- Lombard-Latune R., Pelus L., Fina N., L'Étang F., Le Guennec B. et Molle P. (2018). Resilience and reliability of compact vertical-flow treatment wetlands designed for tropical climates. *Stoten*, 642, 208-215.
- Lombard-Latune R. et Molle P. (2017). Les filtres plantés de végétaux pour le traitement des eaux usées domestiques en milieu tropical. Guide de dimensionnement de la filière tropicalisée. Agence française pour la biodiversité, collection Guides et protocoles, 76 p. www.epnac.fr.
- Lombard-Latune R. et Molle P. (2016). Quelles plantes pour les filtres plantés de végétaux dans les DOM ? Rapport final. Lyon : Irstea, 76 p. www.epnac.fr.
- Mercoiret L. (2010). Qualité des eaux usées domestiques produites par les petites collectivités – Application aux agglomérations d'assainissement inférieures à 2 000 EH. www.epnac.fr.
- Molle P., Lombard-Latune R., Riegel C., Lacombe G., Esser, D. et Mangeot L. (2015). French vertical-flow constructed wetland design: Adaptations for tropical climates. *Water Science and Technology*, 71 (10), pp 1516-1523.
- Molle P., Liénard A., Grasmick A. et Iwema A. (2006). Effect of reeds and feeding operations on hydraulic behaviour of vertical flow constructed wetlands under hydraulic overloads. *Water research*, Vol 40 (3), pp. 606-612.
- Molle P., Liénard A., Boutin C., Merlin G. et Iwema A. (2005). How to treat raw sewage with constructed wetlands: An overview of the French systems. *Wat. Sci. & Tech*, vol 51, n°9, pp 11-21.
- Office de l'eau de La Réunion (2018). Chroniques de l'eau Réunion. N°96 – 13 mars 2018. Les services publics d'assainissement de La Réunion continuent leur modernisation. Saint-Denis : ODE Réunion, 12 p.
- Office de l'eau de la Guadeloupe et Ginger Caraïbes (2014). Contrôle du fonctionnement des stations de traitement des eaux usées de moins de 2 000 EH. Dossier technique, synthèse des visites. 59 p. Office de l'eau de la Guadeloupe, SAFEGE, ANTEA, SCP et ISL (2011). Schéma départemental mixte eau et assainissement. Volet assainissement. Phase 3 : Schéma départemental. Gourbeyre : OE 971, 146 p.
- SIEAM (2016). Présentation "Assainissement des eaux usées à Mayotte". 71 p.
- Stricker A.-E., Husson A., Pierre M. et Canler J.-P. (2018). Consommation énergétique des filières intensives de traitement des eaux résiduaires urbaines. Journées Information Eau (23^{ème} édition), APTEN et IC2MP, 9-11 octobre 2018, Poitiers, France.
- Trein C.-M., Banc C., Maciejewski K., De Moraes Motta A., Gourdon R., Molle P., Gautier M. et Von Sperling M. (2020). French vertical flow treatment wetlands in a subtropical climate: Characterization of the organic deposit layer and comparison with systems in France. *Science of the Total Environment*, 742, 140608.
- Wittner C. et Wéry C. (2013). Estimation des besoins de renouvellement des réseaux d'eau et d'assainissement collectif. Strasbourg UMR Geste ENGEE/IRSTEA, 39 p.

● Rédaction

Rémi Lombard-Latune (INRAE, UR REVERSAAL - Centre de Lyon Villeurbanne)

Pascal Molle (INRAE, UR REVERSAAL - Centre de Lyon Villeurbanne)

● Relecture

Les auteurs tiennent à remercier pour leur relecture :

Hugues Delannay (ODE Guadeloupe)

Stéphane Garnaud-Corbel (OFB)

Loïc Mangeot (ODE Martinique)

Céline Thiriat (DEAL Mayotte)

● Édition

Béatrice Gentil-Salasc (OFB)

● Création et mise en forme graphiques

Béatrice Saurel (saurelb@free.fr)

● Citation

Lombard-Latune R., Molle P. 2021.

Le traitement des eaux usées domestiques dans les départements d'outre-mer.

Office français de la biodiversité.

Collection *Comprendre pour agir*. 24 pages.

● Contact

stephane.garnaud-corbel@ofb.gouv.fr

● Mentions légales

Éditeur : Office français de la biodiversité (OFB) - 12, cours Lumière - 94300 Vincennes

Imprimeur : Estimprim - ZA À la Craye - 25110 Autechaux

Gratuit

Achévé d'imprimer en septembre 2021

Dépôt légal à parution

ISBN web : 978-2-38170-120-2

ISBN print : 978-2-38170-121-9

La reproduction à des fins non commerciales, notamment éducatives, est permise sans autorisation écrite à condition que la source soit dûment citée. La reproduction à des fins commerciales, et notamment en vue de la vente, est interdite sans permission écrite préalable.



La collection **Comprendre pour agir** accueille des ouvrages issus de travaux de recherche et d'expertise mis à la disposition des enseignants, formateurs, étudiants, scientifiques, ingénieurs et des gestionnaires concernés par la biodiversité.

Derniers numéros parus

■ 29 - Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques : connaissances pratiques et expériences de gestion - Vol. 3 Expériences de gestion (bis) (mai 2018)

■ 30 - La prévision à moyen et long terme de la demande en eau potable : bilan des méthodes et pratiques actuelles (janvier 2019)

■ 31 - Les bénéfices liés à la préservation des eaux souterraines : pourquoi et comment leur donner une valeur monétaire ? (novembre 2018)

■ 32 - Lutter contre les micropolluants dans les milieux aquatiques : quels enseignements des études en sciences humaines et sociales ? (septembre 2018)

■ 33 - Agro-écologie et Trame verte et bleue : des synergies à valoriser (avril 2019)

■ 34 - Évaluer le franchissement des obstacles par les poissons et macrocrustacés dans les départements insulaires ultramarins - Principes et méthode (décembre 2019)

■ 35 - Bresle - Oir - Scorff - Nivelle. Trois décennies d'observations et de recherche sur les poissons migrateurs (mai 2020)

■ 36 - Dimensionnement de la compensation ex ante des atteintes à la biodiversité - État de l'art des approches, méthodes disponibles et pratiques en vigueur (mai 2020)

■ 37 - Histoire et impacts environnementaux de l'orpaillage en Guyane - Clefs de compréhension des tensions actuelles (juin 2020)

■ 38 - Bilan pour l'action de la stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020 : synthèse de l'évaluation (juillet 2020)

■ 39 - Trame noire, méthodes d'élaboration et outils pour sa mise en œuvre (mars 2021)

■ 40 - Les ressources de la prospective au service de la biodiversité - Comment mobiliser les futurs pour les politiques publiques de biodiversité ? (septembre 2021)

■ 41 - Le traitement des eaux usées domestiques dans les départements d'outre-mer. (septembre 2021)

